

Уртегешев Николай Сергеевич
Институт филологии СО РАН
г. Новосибирск, Российская Федерация
urtegeshev@mail.ru

Артикуляционно-акустические корреляты мягкости согласных типа «S» и «Z»

Аннотация

Целью исследования было выявление надёжных акустических показателей, позволяющих дифференцировать твёрдые и мягкие согласные на основе анализа их осциллограмм и спектрограмм в изолированном произнесении, и сопоставление с ранее описанными артикуляционными параметрами. Автор опровергает традиционное представление о том, что мягкость связана исключительно с палатализацией (подъёмом средней части языка к твёрдому нёбу), и выдвигает гипотезу о ключевой роли ларингальных механизмов, включая ингерентную соартикуляцию голосовых складок и гортани. В работе представлены результаты экспериментального анализа двух пар согласных ([s]–[s'], [z]–[z']), записанных при фиксированном положении надсвязочных артикуляторов. Осциллографический и спектрографический анализ выявил значимые различия в амплитуде и спектральной плотности между твёрдыми и мягкими согласными, а также контрастные зоны в средних и высоких частотных диапазонах. Полученные данные подтверждают, что мягкость является ингерентным признаком, связанным с ларингальными настройками. Это позволило предложить новые критерии для автоматического распознавания речи и сопоставительных лингвистических исследований.

Ключевые слова: фрикативный фронтальный согласный, амплитуда, спектральная плотность, частотный диапазон, форманта, признак мягкости, признак твёрдости, палатализация

© Уртегешев Н. С. 2025

Для цитирования: Уртегешев Н. С. Артикуляционно-акустические корреляты мягкости согласных типа «S» и «Z» // Теоретическая и прикладная лингвистика. 2025. Вып. 11, № 3. С. 167–179. <https://doi.org/10.22250/24107190-2025-11-3-167>

Nikolay S. Urtegeshev
Institute of Philology, the Siberian Branch of the RAS
Novosibirsk, Russian Federation
urtegeshev@mail.ru

Articulatory and acoustic cues of softness in consonants of s- and z-type

Abstract

This paper aims to identify reliable acoustic cues differentiating hard and soft consonants based on their wave forms and spectrograms obtained during their isolated pronunciation and to compare the acoustic cues to the previously explored articulatory cues. The author challenges the traditional view that softness is solely achieved due to palatalization (raising the middle part of the tongue to the hard palate) and proposes a hypothesis emphasizing the role of laryngeal mechanisms including inherent coarticulation of the vocal folds and larynx. The paper presents experimental results from analyzing two pairs of consonants ([s]–[s'], [z]–[z']) recorded with fixed supralaryngeal articulator positions. The analysis of wave forms and spectrograms revealed significant differences in amplitude and spectral density between hard and soft consonants as well as in contrasting zones in

mid and high frequency ranges. The findings confirm that softness is an inherent feature determined by the laryngeal adjustments. This discovery offers new criteria for automatic speech recognition and comparative linguistic studies.

Keywords: front fricative consonant, amplitude, spectral density, frequency range, formant, softness feature, hardness feature, palatalization

© Urtegeshev N. S. 2025

For citation: Urtegeshev, N. S. (2025). Artikulyatsionno-akusticheskie korrelyaty myagkosti soglasnykh tipa «s» i «z» [Articulatory and acoustic cues of softness in consonants of s- and z-type]. *Teoreticheskaya i prikladnaya lingvistika [Theoretical and Applied Linguistics]*, 11 (3), 167–179. <https://doi.org/10.22250/24107190-2025-11-3-167>

1. Введение [Introduction]

Данная работа является продолжением исследования акустического эффекта «мягкости». Ранее нами были проанализированы статические и динамические снимки артикуляционных настроек мягких согласных, сделанных методом МРТ (магнитно-резонансным томографированием) [Уртегешев, 2024, с. 186–199]. Артикуляционный эксперимент проводился при слуховом контроле, в котором использовались речевые образцы разных языков народов Сибири. В результате анализа были сделаны следующие выводы:

1. Артикуляционные корреляты фонического и фонематического признака «мягкость» связаны не только и не столько с работой языка в полости рта, поскольку при одном и том же укладе языка может быть реализован как твёрдый, так и мягкий согласный.

2. У мягких согласных фиксируется примордиальная, другими словами, ингерентная соартикуляция: одновременное образование приматона или примаволны определённого звукотипа с образованием узкой щели в передней части у голосовых складок; кроме того, передний край гортани чуть приподнимается вверх и вперёд, в результате чего образуется шум, который мы определяем как «мягкость» звука.

3. Все мягкие согласные переднеязычно-среднеязычные (передне-среднеязычные) и палатализованные мы считаем аллоартикуляциями. Так, [n'], [n'/ɲ (n'')], [ɲ] и [ɲ'] – это звуки, которые есть ничто иное как артикуляционные варианты примаволны типа «n'» с синхронной тернарной артикуляцией. Они различаются лишь местом образования орального фокуса. Итак, задействовано три отдела речевого тракта: 1) соартикуляция – голосовые складки и гортань в целом (образование примаволны определённого типа) + образование шума «мягкости», 2) синхронная артикуляция – смычный фокус в ротовой полости (место фокуса зависит от привычек носителей идиома или индивидуума), 3) синхронная артикуляция – открытие носового канала. Примордиальность мы отдаём соартикуляции голосовых складок с гортанью в целом, а всё, что выше – это необходимая, но вторичная синхронная артикуляция. Для «неподготовленного уха», действительно, крайне сложно отличить палатализованные от среднеязычных / палатальных, особенно при их продвижении вперёд.

4. В некоторых случаях по соматическим материалам без сделанной синхронной аудиозаписи или слухового анализа трудно сказать, является ли согласный палатализованным мягким или уранизированным (палатализованным твёрдым).

5. Палатализация и уранизация как подъём средней части спинки языка к твёрдому нёбу могут быть сильными, умеренными и слабыми. Это зависит от степени отстояния спинки языка от твёрдого нёба: чем меньше отстояние, тем сильнее палатализация и уранизация.

6. Воспринимаемая на слух мягкость может быть усиленная или ослабленная. Всё зависит от того, в какой части ротовой полости располагается тело языка (наибольшая масса) в момент фонации мягкого согласного: чем ближе к передней части твёрдого нёба, тем «сильнее» и «чище» будет звучать мягкость и, наоборот, чем ближе к задней стенке фаринкса, тем она «слабее» и «приглушённое». Таким образом, мы наблюдаем интерференцию звуковых волн [Степанов, 2004–2017].

Что касается акустического аспекта «мягкости», то на этот счёт в научной литературе есть следующие данные: понижение первой форманты (F1) и повышение второй форманты (F2), усиление составляющих в более высоких областях спектра (от 2500 Гц), сдвиг частотных составляющих вверх и повышение нижней границы шума, а также появление дополнительного фрикативного шума в средне-высоких частотах [Наделяев, 1960, с. 14 ; Зиндер, 1979, с. 133 ; Бондарко и др., 1991 ; Bondarko, 2005 ; Андросова и др., 2009].

В первой монографической работе, выполненной на материале русского языка экспериментальными методами исследования, анализируются палатализованные (мягкие)¹ согласные [Дукельский, 1962], в частности, в препозиции к разным гласным рассматриваются p' -, t' -, k' -. Автор приходит к следующим заключениям [Дукельский, 1962, с. 23–26]:

1. Отрезок речевого потока, соотносимый с начальными p' -, t' -, k' -, в сочетаниях p' + VC представлен импульсно-шумовой и голосовой (иотообразной, или [i]-образной) частью, а в сочетаниях t' + VC и k' + VC – в большинстве случаев только импульсно-шумовой частью.

2. Выделенная из речевого потока импульсно-шумовая часть p' - воспринимается как щелчок или как твёрдый p -.

3. Для получения нужного оттенка p' - необходимо присоединить к импульсно-шумовому сегменту часть иотообразного элемента в 2–4 периодических колебания.

4. Импульсно-шумовая часть t' - звучит мягко на всём протяжении; по длительности и характеру огибающей она сходна с начальным s -, но отличается от него по составу и характеру переходного процесса.

5. Роль [i]-образного или [y]-образного переходного элемента в восприятии мягкости p' - носит решающий характер, а в случае t' - и k' - [i- (y-)]-образный элемент дополняет или же разделяет с предшествующей частью речевого потока признак мягкости согласного. Это относится в равной мере и к другим согласным, соответствующим p' -, t' -, k' - по месту образования.

К сожалению, в своей работе Н. И. Дукельский, как и исследователи до него² и после (например, [Морозова, Андросова, 2018; Селютина, 2024]), мягкость согласного связывают с палатализацией, т. е. подъёмом средней части спинки языка к твёрдому нёбу, указывая на наличие [i]³-образного или [y]-образного переходного элемента, что не увязывается с наши данным. В связи с этим, целью нашего исследования было выявление объективных акустических показателей, позволяющих дифференцировать твёрдые и мягкие согласные на основе анализа их осциллограмм и спектрограмм в изолированном произнесении, и сопоставление с ранее описанными артикуляционными параметрами.

¹ Анализ литературных источников показал, что во многих работах между терминами «палатализованный» и «мягкий», а ещё и «смягчённый» ставится знак равенства [Наделяев, 1960, с. 14 ; Дукельский, 1962 ; Трахтеров, 1962, с. 204 ; Бондарко и др., 1991, с. 50], различий не делается [Наделяев, 1960, с. 14 ; Зиндер, 1979, с. 133 ; Кодзасов, Кривнова, 2001, с. 283].

² «По-видимому, наше восприятие «мягкости» согласных перед а, о, у обуславливается главным образом этим среднесреднеязычным элементом гласным, а при р, к в начале слова исключительно только этим элементом» [Щерба, 1912, с. 87] (по кн.: Дукельский Н. И. Принципы сегментации речевого потока. М. : Л., 1962. С. 26.).

³ В некоторых языках, например в китайском, i-образный элемент действительно присутствует, имея статус медиали [Чжоу, Тананайко, 2024]. На наш взгляд, он служит переходным компонентом или связующим между мягким согласным и последующим гласным, а не переходным элементом мягкости согласного. Это связано с разными стратегиями перехода от мягкого согласного к постпозитивному гласному (всех гласных, кроме «i»), которые у разных народов в течении многовекового развития выработались по-разному, кроме звуков типа «i», у которого истинные голосовые связки в передней части имеют ровно такую же артикуляцию, что и у мягких согласных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи: 1) записать изолированно произнесенные пары близких по типу твёрдых и мягких согласных при неизменном положении надсвязочных органов артикуляции; 2) зафиксировать аллоартикуляции исследуемых согласных в переднем и заднем отделах рото-глоточной полости речевого тракта; 3) провести детальный анализ полученных аудиозаписей с использованием специализированного программного обеспечения (SpeechAnalyzer 3.0.1) для выделения значимых акустических параметров.

Гипотеза исследования базировалась на положении о том, что феномен артикуляционной «мягкости» обусловлен ингерентной соартикуляцией, включающей два ключевых компонента:

1. Одновременное формирование примафона (или примаволны) целевого звуко-типа с сужением щелевого пространства в переднем отделе голосовых складок (по аналогии с механизмами, описанными в работах по ларингальной артикуляции, например, [Esling, 2005]). Как отмечает Дж. Эслинг, ларингальный артикулятор способен создавать сужения, акустически эквивалентные оральным артикуляциям [Esling, 2005, p. 15], что согласуется с нашей гипотезой об ингерентной соартикуляции. Единственно с чем мы не можем согласиться, это то, что гортань может наклоняться вперёд, приподнимая надгортанник [...] Это действие сокращает голосовой тракт, повышая первую форманту (F1) и понижая вторую (F2), что создаёт перцептивный эффект ‘смягчения’ гласного [Esling, 2005, p. 23]. Мы не видим прямой связи между изменениями в гортани и формантными изменениями: их может и не быть.

2. Кинематическое смещение переднего края гортани по траектории «вверх-вперёд», что приводит к генерации специфического шумового паттерна, перцептивно интерпретируемого как признак мягкости (ср. с концепцией «гортанная настройка» в [Кодзасов, 2006]). Как показано в работе С. В. Кодзасова, мягкость может быть результатом «гортанной настройки» – артикуляционного сдвига гортани, приводящего к сужению голосовой щели и изменению резонансных свойств тракта [Кодзасов, 2006, с. 45]. Это согласуется с нашей гипотезой об ингерентной природе мягкости.

Методологическая проверка гипотезы предполагает:

1. Сравнительный акустический анализ пар твёрдых / мягких звуков методами: осциллографии (для выявления временных характеристик сигнала, включая амплитудные изменения); спектрографии (для анализа формантной структуры и шумовых компонентов, связанных с глоттальным сужением);

2. Сопоставление данных с артикуляционными моделями, что позволяет верифицировать связь акустических коррелятов с физиологическими процессами.

Теоретически, результаты должны подтвердить, что «мягкость» является не аддитивным, а ингерентным признаком, что согласуется с теорией коартикуляции [Ohala, 1993] и расширяет понимание фонетической вариативности в рамках ларинго-фарингального континуума.

Поскольку ларингальное сужение генерирует шумовой компонент [Ladefoged, Maddieson, 1996, p. 315], спектрографический анализ позволяет выявить его корреляты в виде аperiodических колебаний.

2. Эксперимент [Experiment]

2.1. Материал и методика исследования [Material and methods]

Для акустического анализа были выбраны две пары щелевых согласных, минимально различающихся по признаку мягкости: глухие «s» – «s'» и звонкие «z» – «z'». Отбор именно этих пар обусловлен их артикуляционной и акустической близостью, что

обеспечивало оптимальные условия для сравнительного анализа. Кроме того, данные щелевые согласные оказалось проще всего сгенерировать и качественно смодулировать. Пара глухих согласных «s» – «s'» кроме фронтального артикулирования, произносилась гуттурально – образование узкой щели между корнем языка и задней стенкой фаринкса. Гуттуральное артикулирование согласных типа «s» – «s'» вызвало некоторые сложности, в силу своей искусственности, но оказалось вполне возможным, хотя и на слух звучало необычно. Необычность звучания звукотипов «s» и «s'» характерна и для латерализованных сургутского диалекта хантыйского языка, которые традиционно относят к глухим медиально-смычным латерально-щелевым согласным типа «l» [Уртегешев, 2019, с. 100–109].

Во время записи был обеспечен полный контроль артикуляционных параметров: 1) фиксированное положение супраларингальных артикуляторов (тело языка, мягкое нёбо, губы, нижняя челюсть); 2) вариативность обеспечивалась исключительно за счёт ларингальных изменений. Испытуемым выступал автор исследования (метод аутофонетического анализа), что обусловлено: наличием специальных навыков артикуляционного контроля; развитой кинестетической чувствительностью; способностью к точной фиксации артикуляционных позиций с аудитивным мониторингом. Были разработаны специализированные фонетические протоколы, позволяющие: стандартизировать процедуру записи; объективизировать параметры анализа; количественно оценивать акустические корреляты мягкости. Данная методика обеспечивает: высокую степень контроля артикуляционных переменных; воспроизводимость результатов; минимизацию побочных фонетических эффектов.

Звуковые файлы нарезались с помощью компьютерной программы Audacity и далее анализировались в программе SpeechAnalyzer 3.0.1.

В настоящей работе мы различаем низкие, средние и высокие частоты, которые имеют следующие соответствия (табл. 1):

Т а б л и ц а 1. Шкала частот
[T a b l e 1. Frequency scale]

Частота	Диапазон, Гц (в акустике и физике звука)	Диапазон, Гц (в музыке, звукорежиссуре и аудиотехнике)
низкая	20 Гц – 300 Гц Примеры: Гром, басовые инструменты, гул двигателей.	20 Гц – 250 Гц Примеры: Гул двигателя, бас-гитара, удары барабана (бочка), низкие ноты органа.
средние	300 Гц – 3000 Гц Примеры: Человеческая речь (основные частоты: 500–2000 Гц), большинство музыкальных инструментов.	250 Гц – 2000 Гц Примеры: Человеческий голос (основные частоты речи), гитара, фортепиано, саксофон.
высокие	3000 Гц – 20000 Гц Примеры: Звон стекла, пение птиц, свист, шипящие согласные в речи.	2000 Гц – 20000 Гц Примеры: Скрипка, флейта, тарелки, птичьи трели, шипящие звуки («с», «ш»).

Точного понятия низких, средних и высоких частот не существует, поэтому в нашей работе мы будем придерживаться диапазона частот, рассматриваемых в акустике и физике звука.

В данной работе применён стандартный метод относительного расчёта процентного изменения между двумя величинами (напр., [Наделяев, 1980, с. 36–37 ; Stevens, 1998]): % снижения = $100\% \times (E_{\text{твёрдый}} - E_{\text{мягкий}}) / E_{\text{твёрдый}}$. Формула является общепринятой в физике и обработке сигналов для оценки разницы энергии между двумя состояниями (в данном случае – твёрдым и мягким вариантами согласного). Она

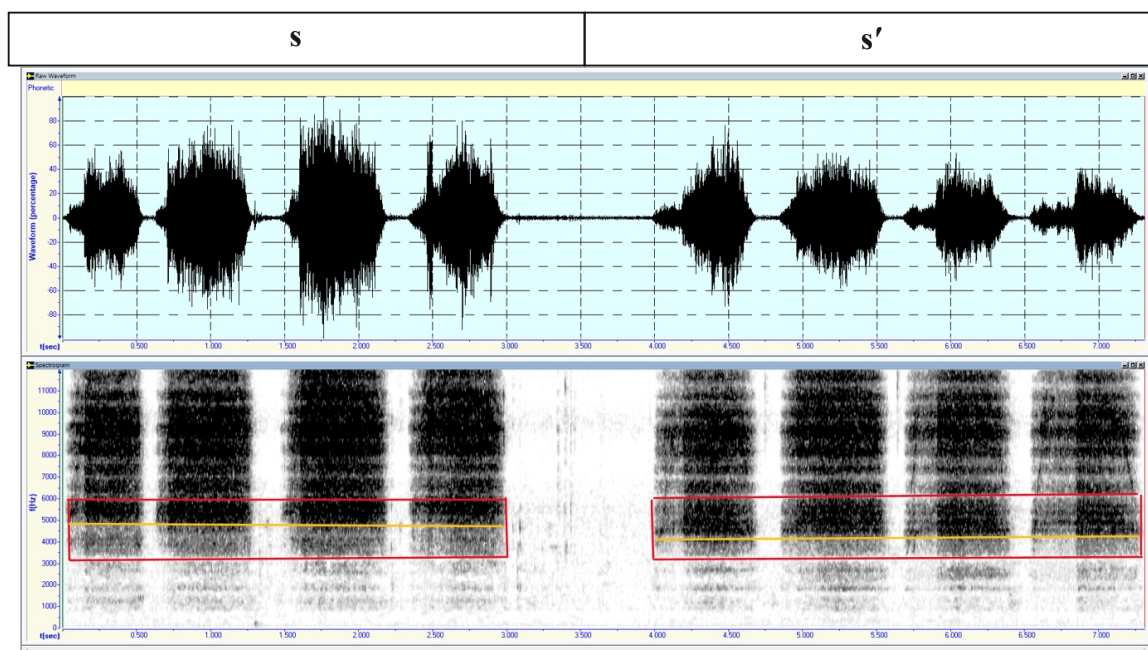
прямо следует из определения процентного изменения: если $E_{\text{твёрдый}}$ – исходная энергия (база для сравнения), а $E_{\text{мягкий}}$ – изменённая энергия, то снижение в процентах = (разница) / (исходное значение) $\times 100\%$. Погрешность $\pm 5\%$ из-за: субъективности визуальной оценки спектрограмм; вариативности между повторными произнесениями; округления при переводе графических данных в числовые.

2.2. Обсуждение результатов [Results and discussion]

2.2.1. Первая программа исследования [First research program]

В исследовании были записаны и проанализированы фронтальные согласные [s] и [s'], реализованные со следующей артикуляционной конфигурацией: губы растянуты с образованием узкой щели, дентализация выражена положением верхних резцов перед нижними. Тело языка располагалось в передней части ротовой полости, формируя удлинённый узкий щелевой фокус между передне-средней частью спинки языка с альвеолами и прилегающим участком твёрдого нёба. Корень языка был оттянут от задней стенки фаринкса при сохранении щелевого фокуса. Вход в носовую полость закрыт.

Были последовательно произведены четыре реализации твёрдого [s] и четыре реализации мягкого [s'] (рис. 1) при полном сохранении идентичности артикуляции над истинными голосовыми складками.



Р и с у н о к 1. Осциллограммы и спектрограммы изолированно произнесённых фронтальных согласных [s] и [s']

[Figure 1. Wave forms and spectrograms of front consonants [s] and [s'] pronounced in isolation]

На слуховом уровне все реализации твёрдого согласного сохраняли стабильную твёрдую характеристику на протяжении всей фонации, в то время как мягкие варианты демонстрировали характерную мягкость. Данное наблюдение особенно значимо, поскольку аудитивный анализ речевых образцов из различных языков выявил случаи, когда воспринимаемые на слух как мягкие согласные при акустическом анализе оказывались твёрдыми сегментами, при этом признаки «мягкости» проявлялись пре-

имущественно на смежных вокальных участках (как правило, в начальной трети фонации «постмоллисного» гласного).

Обнаруженное несоответствие между слуховым восприятием и результатами акустического анализа подчёркивает важность учёта: 1) временного распределения признаков «мягкости»; 2) коартикуляционных эффектов в переходах согласный-гласный; 3) реализации вторичных артикуляций, зависящих от конкретного языка.

Полученные результаты обосновывают необходимость комплексного многопараметрического подхода при исследовании фонетических коррелятов «мягкости» в различных языках.

Акустические корреляты мягкости глухих фронтальных [s] и [s']. Как следует из экспериментальных условий (при неизменном положении супраларингальных артикуляторов), наблюдаемые акустические различия между твёрдыми и мягкими согласными могут рассматриваться как надёжные показатели «мягкости». Осциллографический анализ выявил следующие закономерности:

1. Амплитудные характеристики: твёрдые согласные демонстрируют большую амплитуду колебаний шумовой составляющей (средний диапазон -52м – +52м); для мягких согласных характерен меньший размах амплитуды (средний диапазон -34м – +34м); средняя амплитудная разница составляет ± 18 м.

Предполагается, что данное различие обусловлено вариациями длины голосовых складок: при образовании твёрдых согласных (без переднего сжатия, характерного для мягких гоморганных согласных) отмечается большая длина вибрирующего участка связок, что объясняет их повышенную интенсивность.

2. Спектральные характеристики (табл. 2): твёрдые согласные отличаются повышенной спектральной плотностью в диапазоне 3–12 кГц, что визуализируется через насыщенность цветового отображения; обнаружены значимые межгрупповые различия в распределении энергии по частотным полосам; дополнительные зоны дифференциации напряжённости зафиксированы в других частотных областях (см. табл. 2).

3. У твёрдых и мягких согласных отмечается спад энергии в фаринксе (засветление в диапазоне ≈ 3 кГц–5кГц) из-за сильной продвинутой массы тела языка в переднюю часть ротовой полости.

4. Мягкие варианты дают более широкую полосу напряжённости примерно в рото-глоточной части речевого тракта (≈ 2 кГц), в отличие от твёрдых (≈ 1 кГц, энергия снижена на 50%), что, по всей видимости, связано с разным движением (углом движения) примаволны, что, в свою очередь, определено с углом наклона гортани.

Т а б л и ц а 2. Распределение напряжённости фронтальных [s] и [s']

[T a b l e 2. Distribution of tension in front [s] and [s']]

s		s'	
Засветление	Затемнение	Засветление	Затемнение
≈ 3 кГц–5кГц = 2кГц	≈ 5 кГц–6кГц = 1кГц	≈ 3 кГц–4кГц = 1кГц	≈ 4 кГц–6кГц = 2кГц

По результатам первой программы эксперимента можно заключить, что мягкие фонны «s»-подобных согласных обладают объективно диагностируемыми акустическими маркерами:

1. Имеются достоверные различия в спектральной напряжённости в характерных частотных диапазонах (табл. 2), что позволяет: 1) разработать количественные критерии идентификации мягкости; 2) создать алгоритмы автоматического детектирования мягкости.

2. Установленная амплитудная редукция ($\pm 18\text{м}$) подтверждает: 1) изменение фонационного режима при «мягкости»; 2) необходимость учёта динамических параметров сигнала.

2.2.2. Вторая программа исследования [Second research program]

В рамках настоящего исследования была реализована серия экспериментов по записи звонких щелевых согласных [z] и [z']. Методика проведения эксперимента включала следующие параметры:

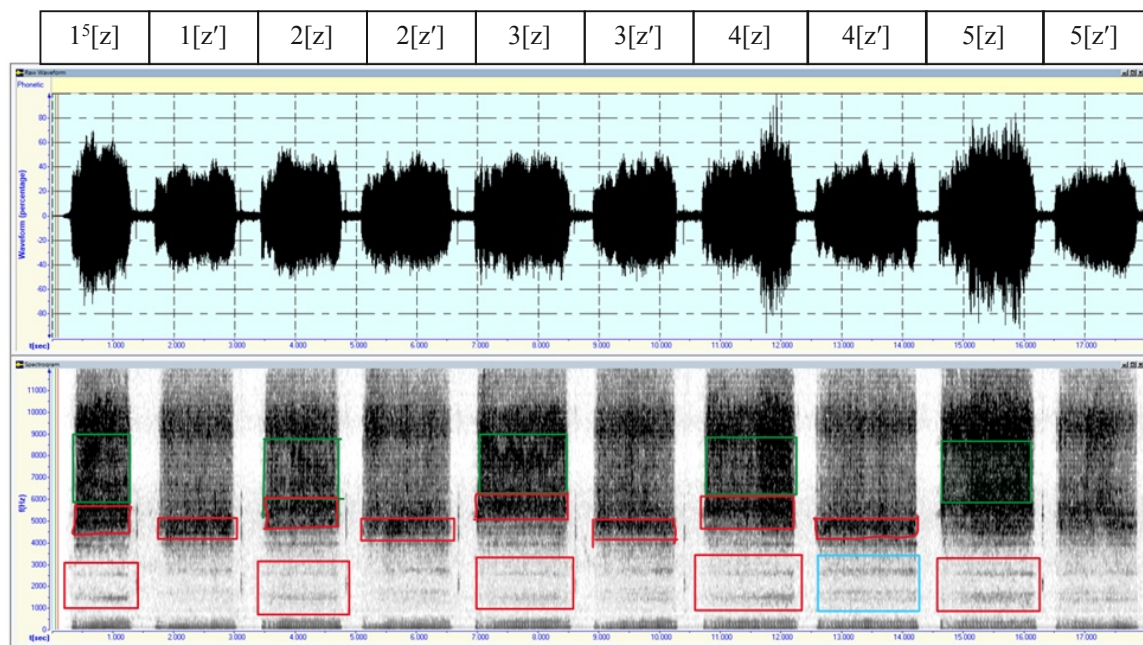
1. Артикуляционные условия: 1) сохранение идентичной конфигурации органов артикуляции, использованной в предыдущей серии экспериментов (фиксация супраларингальных параметров – положение губ, конфигурация языка, велофарингальное закрытие).

2. Процедура записи: 1) последовательное чередование твёрдых и мягких вариантов согласных; 2) визуализация последовательности артикуляций (см. рис. 2).

3. Особенности экспериментального протокола: 1) контроль ларингальных параметров (степень смыкания голосовых складок, напряжение вокальных мышц); 2) мониторинг аэродинамических характеристик (величина подскладочного давления, скорость воздушного потока).

Описанная программа обеспечивает следующие методические преимущества использованного подхода: 1) сравнимость результатов с предыдущей серией экспериментов; 2) возможность выявления специфических характеристик звонких согласных; 3) минимизация артикуляционного дрейфа за счёт чередования гоморганных фонов.

Полученные данные позволяют провести сравнительный анализ акустических характеристик: внутри группы звонких согласных; между звонкими и глухими вариантами; между твёрдыми и мягкими реализациями.



Р и с у н о к 2. Осциллограммы и спектрограммы изолированно произнесённых фронтальных согласных [z] и [z']

[Figure 2. Wave forms and spectrograms of front consonants [z] and [z'] pronounced in isolation]

Акустические корреляты мягкости звонких фронтальных [z] и [z']. Проведённый анализ выявил следующие закономерности в акустических параметрах исследуемых согласных.

1. Амплитудные характеристики: наблюдается статистически значимое увеличение размаха колебаний у твёрдых согласных по сравнению с мягкими; в диапазоне со второй по шестую реализации (слева направо) отмечается высокая степень сходства акустических паттернов.

2. Спектральные особенности (рис. 2, табл. 3): чётко прослеживается снижение интенсивности спектральной энергии у мягких согласных в полосе 0–12 кГц, что позволяет говорить о разной степени напряжённости при генерации примаволны «z»-образных звуков; есть зоны, которые имеют контрастное отличие (табл. 3).

3. Обертоновая структура: 1) для твёрдых согласных характерно устойчивое наличие интенсивных обертонов в двух частотных областях – 1.5 кГц и 2.75 кГц; 2) в мягких вариантах данные спектральные пики выражены слабее, за исключением атипичной реализации 4[z'], демонстрирующей: амплитуду обертонов, сопоставимую с твёрдыми вариантами, аналогичную частотную локализацию;

4. Низкочастотный диапазон (0–500 Гц): твёрдые согласные в большинстве случаев характеризуются: повышенной спектральной плотностью (на 3–5 дБ), большей стабильностью энергетического распределения. Однако обнаружены исключения (4[z']), что: снижает диагностическую ценность данного параметра, свидетельствует о вариативности артикуляционных стратегий.

5. В ротовой полости у мягких напряжённость звукового потока менее выражена (засветление: $\approx 5\text{кГц} - 9\text{кГц} = 4\text{кГц}$), чем у твёрдых (затемнение: $\approx 6\text{кГц} - 9\text{кГц} = 3\text{кГц}$), но ширина полосы шума больше на 1 кГц (25%).

Т а б л и ц а 3. Распределение напряжённости фронтальных [z] и [z']
[Table 3. Distribution of tension in front [z] and [z']]

z		z'	
Затемнение	Затемнение	Затемнение	Засветление
$\approx 4,5\text{кГц} - 6\text{кГц} = 1,5\text{кГц}$	$\approx 6\text{кГц} - 9\text{кГц} = 3\text{кГц}$	$\approx 4,25\text{кГц} - 5\text{кГц} = 0,75\text{кГц}$	$\approx 5\text{кГц} - 9\text{кГц} = 4\text{кГц}$

По результатам второй программы эксперимента, установлены различия в спектральной плотности, которые отражают: различную степень напряжённости голосовых складок; особенности генерации примаволны; специфику резонансных свойств речевого тракта мягкости у согласных.

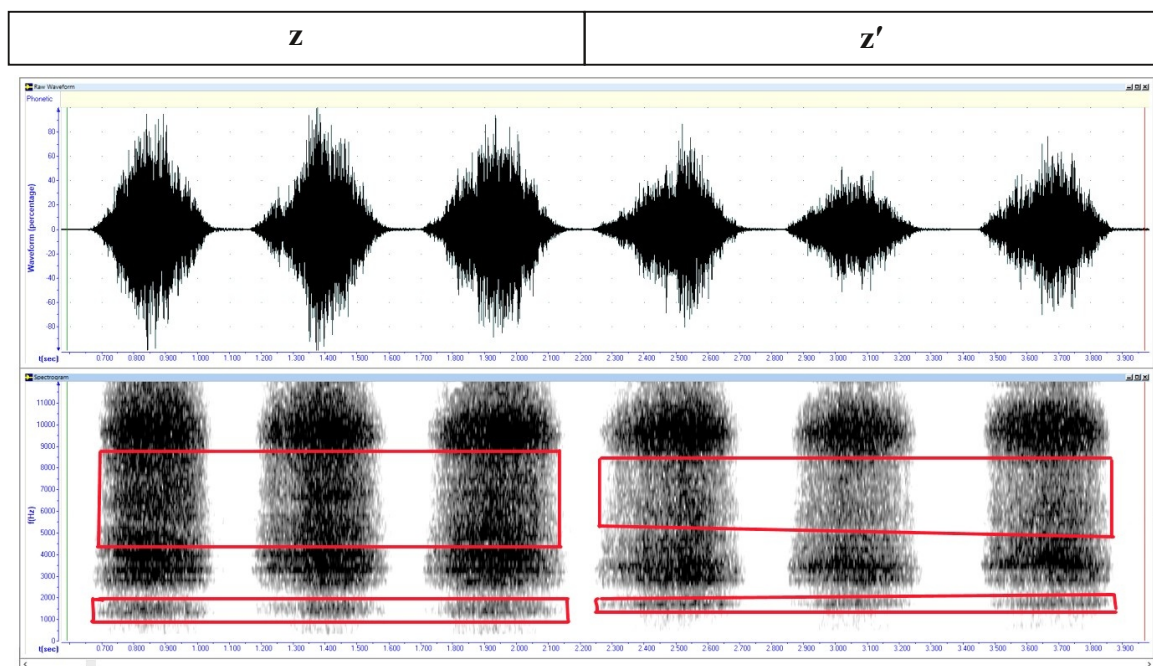
Контрастные зоны (табл. 3) могут служить надёжными акустическими маркерами «мягкости».

Основные дифференциальные признаки (табл. 3): достоверные различия между твёрдыми и мягкими вариантами концентрируются в высокочастотной области (выше 3 кГц).

2.2.3. Третья программа исследования [Third research program]

На рисунке 3 представлены свистящие щелевые согласные [s] и [s'] с бинарной артикуляцией, которые были образованы следующим образом: 1) в гортани истинные голосовые складки генерировали характерную для данных звукотипов примаволну; 2) в глотке образована ингерентная узкая щель между корнем языка и задней стенкой фа-

ринкса; 3) в передней части ротовой полости зафиксирован дополнительный фокус артикуляции (дентализация) между зубами, усиливающий свистящий эффект – усиленная артикуляция. В результате такого непривычного способа артикуляции были получены звуки, акустически отличающиеся от обычных фронтальных аллоартикуляций: более глухие по звучанию, с выраженным твёрдым тембром. Подобная экспериментальная методика была выбрана сознательно, чтобы: выявить общие акустические показатели, независимые от места артикуляции; чтобы исключить частные характеристики, присущие только фронтальным или только гуттуральным настройкам.



Р и с у н о к 3. Осциллограммы и спектрограммы изолированно произнесённых гуттуральных [s] и [s']
[F i g u r e 3. Wave forms and spectrograms of guttural [s] and [s'] pronounced in isolation]

Акустические корреляты мягкости глухих гуттуральных [s] и [s']. У твёрдых согласных размах колебаний волны несколько больше, чем у мягких: -65м – +65м и -38м – +38м соответственно. Этот факт указывает на разную длину голосовой щели (глоттиса) – у мягких согласных она короче вследствие сжатия в передней части истинных голосовых складок.

По степени насыщенности цвета спектрограммы можно заключить, что звуковая волна твёрдых согласных проходит через речевой тракт с бóльшим напряжением. Выявлены две частотные области, в которых наблюдаются различия между твёрдыми и мягкими согласными типа «s» (табл. 4):

- 1) средние частоты: $\approx 1\text{--}2$ кГц у твёрдых, $\approx 1,5\text{--}2$ кГц у мягких;
- 2) высокие частоты: $4,25\text{--}9$ кГц у твёрдых, $\approx 5,5\text{--}8,5$ кГц у мягких.

3) у твёрдых отмечается большой шумовой фокус повышенного давления (продолжительная узкая щель в рото-глоточной части речевого тракта: $\approx 4,25\text{кГц--}9\text{кГц} = 4,75\text{кГц}$), в отличие от мягких, у которых в этом диапазоне отмечается поглощение энергии (засветление: $\approx 5,5\text{кГц--}8,5\text{кГц} = 3\text{кГц}$), что мы связываем с углом изменения гортани в целом и глоттиса – в частности; разное турбулентное движение звуковых волн у твёрдых согласных и мягких.

На рисунке 3: гуттуральный [s'] имеет менее насыщенный спектр в высоких частотах; наблюдается чёткий шумовой компонент $\sim 1.5\text{кГц}$ (от щели в фаринксе), как и у гуттурального твёрдого [s].

Т а б л и ц а 4. Распределение напряжённости гуттуральных [s] и [s']
[T a b l e 4. Distribution of tension when in guttural [s] and [s']]

s		s'	
Затемнение	Затемнение	Затемнение	Засветление
$\approx 1\text{кГц} - 2\text{кГц} = 1\text{кГц}$	$\approx 4,25\text{кГц} - 9\text{кГц} = 4,75\text{кГц}$	$\approx 1,5\text{кГц} - 2\text{кГц} = 0,5\text{кГц}$	$\approx 5,5\text{кГц} - 8,5\text{кГц} = 3\text{кГц}$

3. Заключение [Conclusion]

Ниже представлены выводы, основанные на данных осциллографического и спектрографического анализа, представленных в статье (рис. 1–3, табл. 1–3).

Выявлены объективные акустические маркеры мягкости: 1) уменьшение амплитуды колебаний у мягких согласных (на $\pm 18\text{ м}$ для [s]–[s'], $\pm 27\text{ м}$ для [z]–[z']); 2) снижение спектральной плотности в диапазонах 3–12 кГц (для глухих) и 0–12 кГц (для звонких).

Контрастные зоны в средних (1–2 кГц) и высоких частотах (4–9 кГц), зафиксированные в таблицах 2–3.

Уменьшение амплитуды колебаний: глухие [s'] -34 м против -52 м у твёрдых (разница 35%); звонкие [z'] -38 м против -65 м (разница 42%).

Укорочение длительности шумового участка на 15–20%.

Полученные данные согласуются с современными представлениями о ларингальных механизмах реализации «мягкости» и подтверждают диагностическую ценность комплексного акустического анализа для идентификации признака «мягкости».

Проведённое исследование существенно расширяет понимание фонетической природы мягкости, смещая акцент с традиционных супраларингальных на ларингальные механизмы. Полученные данные позволяют пересмотреть существующие классификации согласных и разработать новые методы акустического анализа.

Полученные данные подтверждают необходимость: комплексного анализа нескольких частотных диапазонов; разработки взвешенных критериев оценки; учета индивидуальной вариативности; учета позиционных вариаций; разработки многофакторных моделей идентификации.

Выявленные закономерности имеют важное значение для: экспериментальной фонетики; автоматического распознавания речи; сопоставительных лингвистических исследований; разработки акустических моделей артикуляции; сопоставительного анализа артикуляционных стратегий.

Перспективы дальнейшего исследования: уточнение природы атипичных реализаций, анализ временной динамики спектральных характеристик, исследование влияния коартикуляционных процессов.

Библиографический список

- Андросова и др., 2009 – Андросова С. В., Гнатюк Е. В., Шуйская Т. В. К вопросу о палатализации согласных в национальных вариантах английского языка // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. 2009. Сер. 9. Филология. Востоковедение. Журналистика. Вып 3. С. 129–137.

- Бондарко и др., 1991 – Бондарко Л. В., Вербицкая Л. А., Гордина М. В. Основы общей фонетики. СПб. : Изд-во СПбГУ, 1991. 152 с.
- Дукельский, 1962 – Дукельский Н. И. Принципы сегментации речевого потока. М. : Л., 1962. 136 с.
- Зиндер, 1979 – Зиндер Л. Р. Общая фонетика. М. : Высшая школа, 1979. 312 с.
- Кодзасов, 2001 – Кодзасов С. В., Кривнова О. Ф. Общая фонетика. М. : РГГУ, 2001. 591 с.
- Кодзасов, 2006 – Кодзасов С. В. Гортанный настрой и его роль в сегментной фонетике // Проблемы фонетики. Вып. VIII. М. : Ин-т языкознания РАН, 2006. С. 36–59.
- Морозова, Андросова, 2018 – Морозова О. Н., Андросова С. В. Мягкие согласные в эвенкийском языке // Казанская наука. 2018. № 11. С. 154–160.
- Наделяев, 1960 – Наделяев В. М. Проект универсальной унифицированной фонетической транскрипции (УУФТ). М. ; Л., 1960. 66 с.
- Наделяев, 1980 – Наделяев В. М. Артикуляционная классификация гласных // Фонетические исследования по сибирским языкам. Новосибирск, 1980. С. 3–91.
- Селютина, 2024 – Селютина И. Я. Палатальность и палатализация в монгольских и тюркских языках: артикуляторный аспект // Материалы IV Международной научной конференции «Актуальные проблемы монголоведных и алтаистических исследований», посвященной 85-летию профессора В. И. Рассадина, 35-летию создания тофаларской письменности и 25-летию сойотской письменности. Элиста, 2024. С. 141–151.
- Степанов, 2004–2017 – Степанов Н. С. Интерференция волн // Большая российская энциклопедия. 2004–2017. URL : <https://old.bigenc.ru/physics/text/2015011> (дата обращения : 21.05.2024).
- Трахтеров, 1962 – Трахтеров А. Л. Английская фонетическая терминология. М. : Изд-во литературы на иностранных языках, 1962. 352 с.
- Уртегешев, 2019 – Уртегешев Н. С. Латеральнощелевые, обозначаемые графемами л и ль в сургутском диалекте хантыйского языка // Вестник угроведения. 2019. Т. 10, № 1. С. 100–109.
- Уртегешев, 2024 – Уртегешев Н. С. Палатальность, палатализация, уранизация, мягкость (по данным МРТ) // Теоретическая и прикладная лингвистика. 2024. Вып. 10, № 3. С. 186–199.
- Чжоу, Тананайко, 2024 – Чжоу Г., Тананайко С. О. Специфика коартикуляции в китайских и русских слогах с палатализованным согласным // Теоретическая и прикладная лингвистика. 2024. Вып. 10, № 2. С. 191–200.
- Щерба, 1912 – Щерба Л. В. Русские гласные в качественном и количественном отношении. СПб. : тип. Ю. Н. Эрлих, 1912. 155 с.
- Bondarko, 2005 – Bondarko L. V. Phonetic and phonological aspects of the opposition of ‘soft’ and ‘hard’ consonants in the modern Russian language // Speech Communication. 2005. N 47. P. 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2005.03.012>
- Esling, 2005 – John H. Esling. There Are No Back Vowels: The Laryngeal Articulator Model // Canadian Journal of Linguistics. N 50 (1). P. 13–44.
- Ladefoged, 1996 – Ladefoged P., Maddieson I. The Sounds of the World’s Languages. Oxford & Cambridge, MA : Blackwell, 1996. xxi, 425 p.
- Ohala, 1993 – Ohala J. The phonetics of sound change // Historical Linguistics: Problems and Perspectives / Ed. by Ch. Jones. London : Longman. P. 237–278.
- Stevens, 1998 – Stevens K. N. Acoustic Phonetics. Cambridge, MA : MIT Press, 1998. 672 p.

References

- Androsova, S. V., Gnatiuk, E. V., Shuiskaya, T. V. (2009). K voprosu o palatalizatsii soglasnykh v natsionalnykh variantakh angliyskogo yazyka [Palatalizing in some accents of English: Universal and typological features]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo un-ta. Ser. 9. Filologiya. Vostokovedenie. Zhurnalistika* [Vestnik of Saint Petersburg University. Series 9. Philology. Asian Studies. Journalism], 3, 129–137. (In Russ.).
- Bondarko, L. V., Verbitskaya, L. A., Gordina, M. V. (1991). *Osnovy obshchey fonetiki* [Fundamentals of general phonetics]. St Petersburg : St Petersburg University Press. (In Russ.).
- Dukelsky, N. I. (1962). *Printsipy segmentatsii rechevogo potoka* [Principles of Speech Flow Segmentation]. Moscow : Leningrad. (In Russ.).

- Zinder, L. R. (1979). *Obshchaya fonetika [General phonetics]*. Moscow : Vysshaya shkola Press.
- Kodzasov, S. V., Krivnova, O. F. (2001). *Obshchaya fonetika [General phonetics]*. Moscow : RSUH Press. (In Russ.).
- Kodzasov, S. V. (2006). Gortannyi nastroy i ego rol' v segmentnoy fonetike [Glottal settings and their role in segmental phonetics]. *Problemy fonetiki [Issues in Phonetics]* (Vol. VIII, pp. 36–59). Moscow : Institute of Linguistics RAS Press.
- Morozova, O. N., Androsova, S. V. (2018). Myagkie soglasnye v evenkiyskom yazyke [Soft consonants in the Evenki language]. *Kazanskaya nauka [Kazan Science]*, 11, 154–160. (In Russ.).
- Nadelyaev, V. M. (1980). Artikulyatsionnaya klassifikatsiya glasnykh [Articulation classification of vowels]. *Foneticheskie issledovaniya po sibirskim yazykam [Phonetic research on Siberian languages]* (pp. 3–91). Novosibirsk. (In Russ.).
- Nadelyaev, V. M. (1960). *Proekt universal'noy unifitsirovannoy foneticheskoy transkripsii (UUFT) [Universal Unified Phonetic Transcription (UUFT) Project]*. Moscow ; Leningrad. (In Russ.).
- Selyutina, I. Ya. (2024). Palatal'nost' i palatalizatsiya v mongol'skikh i tyurkskikh yazykakh: artikulyatornyy aspekt [Palatality and palatalization in Mongolian and Turkic languages: The articulatory aspect]. *Aktual'nye problemy mongolovednykh i altaisticheskikh issledovaniy [Current Issues in Mongolian and Altaic Studies] : Proc. of the IV International scientific conference dedicated to the 85th anniversary of professor V. I. Rassadin, the 35th Anniversary of the creation of the Tofalar script, and the 25th anniversary of the Soyot script* (pp. 141–151). Elista. (In Russ.).
- Shcherba, L. V. (1912). Russkie glasnye v kachestvennom i kolichestvennom otnoshenii [Russian Vowels in qualitative and quantitative terms]. St Petersburg : Yu. N. Erlich Press. (In Russ.).
- Stepanov, N. S. (2004–2017). Interferentsiya voln [Interference of waves]. *Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya [The Great Russian Encyclopedia]*. Retrieved May 21, 2024 from <<https://old.bigenc.ru/physics/text/2015011>>. (In Russ.).
- Trakhterov, A. L. (1962) *Angliyskaya foneticheskaya terminologiya [English phonetic Terminology]*. Moscow : Literatura na inostrannykh yazykakh Press. (In Russ.).
- Urtegeshev, N. S. (2019). Lateral fricatives denoted by graphemes ђ and ѓ in the Surgut dialect of Khanty language. *Vestnik ugrovedenia [Bulletin of Ugric Studies]*, 10 (1), 100–109. (In Russ.).
- Urtegeshev, N. S. (2024). Palatal'nost', palatalizatsiya, uranizatsiya, myagkost' (po dannym MRT) [Palatality, palatalization, uranization, softness (Based on MRI)]. *Teoreticheskaya i prikladnaya lingvistika [Theoretical and Applied Linguistics]*, 10 (3), 186–199.
- Zhou, G., Tananaiko, S. O. (2024). Spetsifika koartikulyatsii v kitayskikh i russkikh slogakh s palatalizovannym soglasnym [The specifics of coarticulation in Chinese and Russian syllables with a palatalized consonant]. *Teoreticheskaya i prikladnaya lingvistika [Theoretical and Applied Linguistics]*, 10 (2), 191–200.
- Bondarko, L. V. (2005). Phonetic and phonological aspects of the opposition of 'soft' and 'hard' consonants in the modern Russian language. *Speech Communication*, 47, 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2005.03.012>
- Esling, J. H. (2005). There Are No Back Vowels: The Laryngeal Articulator Model. *Canadian Journal of Linguistics*, 50 (1), 13–44.
- Ladefoged, P., Maddieson, I. (1996). The Sounds of the World's Languages. Oxford & Cambridge, MA : Blackwell.
- Ohala, J. (1993). The phonetics of sound change. In Ch. Jones (Ed.), *Historical Linguistics: Problems and Perspectives* (pp. 237–278). London : Longman Press.
- Stevens, K. N. (1998). Acoustic Phonetics. Cambridge, MA : MIT Press.